

PRODUCTIVIDAD DE LA ROTACION ANUAL RAIGRAS-MAIZ EN GALICIA: EVALUACION DURANTE CINCO ANOS EN REGADIO Y SECANO Y BAJO DOS SISTEMAS DE SIEMBRA

F. X. LOPEZ CEDRON¹³, B. RUIZ-NOGUEIRA¹, A. CONFALONE^U, J. PINEIRO¹⁻⁴
Y F. SAU⁵

¹Departamento de Producción Vexetal. Escola Politécnica Superior Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n, 27002 Lugo (España), -Facultad de Agronomía de Azul. 7300-Azul. Buenos Aires. (Argentina) ¹/Servicio de infraestructuras Agrarias. Consellería do Medio Rural. Edificio administrativo. Ronda da Muralla 70. 27003 Lugo (España) ²Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. (CIAM), Apartado 10. 15080 A Coruña (España). ³Departamento de Biología Vegetal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Univ. Politécnica de Madrid. Avenida de la Complutense s/n, 28040 Madrid (España).

RESUMEN

Entre los años 1997 y 2002, se ha estudiado en Lugo el rendimiento en regadío y en secano de la rotación anual raigras italiano alternativo-maíz forrajero bajo dos técnicas de siembra: laboreo convencional y siembra directa. Se incluyó en el diseño experimental una pradera de corta duración de raigras italiano no alternativo, para contrastarla con las producciones de la rotación intensiva.

Considerando la rotación de dos cultivos por año, las producciones medias de los cinco años estudiados, se situaron en 28,00, 21,67, 27,93 y 20,90 t ha⁻¹ de materia seca (MS) (laboreo regadío, laboreo secano, siembra directa regadío y secano, respectivamente). En el caso del raigras no alternativo se situaron en 15,69 y 8,27 t ha⁻¹ de MS (regadío y secano respectivamente). Siendo como se ve, los rendimientos de la rotación más intensiva muy superiores a los de raigras no alternativo, incluso en condiciones de secano supera al raigras no alternativo en regadío en un 36% (promedio de los cinco años).

Dentro de la rotación raigras italiano alternativo-maíz, en la mayor parte de los años ensayados no se detectaron diferencias atribuibles al sistema de siembra, lo que parece mostrar que la técnica de siembra no afecta a la producción de esta rotación.

Las producciones de los tratamientos regados han superado ampliamente a los secanos. Dentro de la rotación raigras alternativo-maíz, esto fue debido a las mayores producciones del maíz en regadío, ya que las producciones del raigras alternativo precedidas de maíz secano fueron superiores en cuatro de los años ensayados a las precedidas de maíz regadío. En el raigras no alternativo las producciones de los tratamientos regados también han sido superiores. Incluso en el verano de 1998, el raigras no alternativo en secano se seed

completamente, no rebrotando el otiofo siguiente, con lo que la produccion este ano fue nula.

Palabras clave: *Lolium multiflorum* L., *Zea mays* L., rotaciones forrajeras, siembra directa.

INTRODUCCI6N

La intensification de la produccion de forrajes pennite incrementar las producciones ganaderas en regiones donde la superficie de las explotaciones es un limitante, y la tierra disponible para ampliarlas escasea.

Galiciaesunaregiondeeminente vocation ganaderay la produccionde leche devacuno domina el sector. Asi, la produccion lactea representa el 32,9% de la produccion final agraria y el 53,5% de la produccion final del subsector ganadero (CEA, 2003). El sector productor de iech de vacuno en Galicia ha experimentado una intensa reestructuracion desde la entrada de Espafia en la Union Europea (UE), con un acelerado proceso de reduction del ndmero de explotaciones, que continlia en la actualidad, pasando de 111,6 mil en la campana 1986-87 (Sineiro y Valdes, 1998) a 22,8 mil en la campana 2003-04 (AEA-XUNTA, 2004). Para\elamente a la reduccion del ntimero de explotaciones, se ha producido un incremento de la produccion de leche, de 1650 millones de litros en 1986 (AEA-MAPA, 1987) a 2169 millones de litros en 2004 (AEA-XUNTA 2004), debido a un aumento en la produccion lactea por vaca y por explotaci6n.

Sin embargo, no se ha producido una transferencia suficiente de tierras de las explotaciones que desaparecen hacia las que perduran y el incremento de la produccion de leche se ha basado en buena parte en un aumento del consumo de concentrados y de forrajes comprados fuera de la explotacion. Es por ello por lo que las explotaciones lacteas gallegas, contrariamente a la exten si fi cation propugnada por la polftica agraria de la UE, se ven abocadas a intensincar su producci6n forrajera propia para reducir su excesiva dependencia del exterior y limitar, en consecuencia, su vulnerabilidad economica en caso de posibles aumentos del coste de los alimentos comprados que no se correspondan con aumentos en el precio de la leche.

El objetivo de este trabajo es estudiar la productividad de la rotati6n forrajera intensiva de dos cultivos por ano, raigr&s italiano alteraativo-maiz forrajero. comparandola con la productividad de una rotation menos intensiva, raigrds italiano no alternativo (un cultivo cada dos anos). Por otro lado, se pretende cuantiflcar el efecto de deficit hidrico y del sistema de siembra sobre la mencionada productividad de la rotacion mas intensiva.

Las rotaciones forrajeras intensivas

El maiz forrajero ("*Lea mays* L.) constituye el principal cultivo forrajero de verano en Galicia, con una superficie de 55 977 ha lo que representa el 59,2% del maiz forrajero cultivado en España (AEA-MAPA, datos del año 2006), no figurando en las estadísticas las reducidas superficies de cultivo que se dedican a sorgo o girasol forrajeros. Lloveras (1990) estudio el posible interés de otros cultivos forrajeros de verano como sustitutos del maiz, obteniendo unas producciones (promedio de tres años y dos localidades en Galicia), de 15,2 t de materia seca por ha para el maiz, 9,61 ha⁻¹ para el girasol (*Helianthus annuus*), 7,81 ha⁻¹ para el pasto de Sudan (*Sorghum sudanense*) y 9,91 ha⁻¹ para el híbrido de sorgo [*Sorghum bicolor*] x pasto de Sudan. Considerando que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del maiz es muy superior a la de los otros cultivos estudiados, las ventajas productivas del maiz respecto de los demás cultivos forrajeros de verano son muy claras y justifican su posición dominante en los sistemas de producción de Galicia.

Por otro lado, Lloveras (1986) estudio la productividad de cultivos forrajeros de invierno en Galicia, como raigras italiano (*Lolium multiflorum*), centeno (*Secale cereale*), mezcla de avena (*Avena sativa*) con veza (*Vicia sativa*), y colza (*Brassica napus*), que podrían formar parte de una rotación de dos cultivos por año con los de verano anteriormente comentados. Obtuvo las siguientes producciones: 7,2 t ha⁻¹ para la mezcla de avena con veza; 5,1 t ha⁻¹ para el centeno; 1,11 ha⁻¹ para la colza y 2,5 t ha⁻¹ para el raigras italiano alternativo. Con base en estos resultados se llegó a promover el cultivo de la mezcla de avena con veza porque, aparte de su mayor producción de materia seca, tenía un mayor contenido en proteína que los cereales de invierno cultivados tradicionalmente en Galicia, como la avena y el centeno, consecuencia de la contribución de la veza a la producción. A pesar de este esfuerzo, la mezcla de avena con veza no llegó a introducirse en las explotaciones ganaderas gallegas porque mostró una gran sensibilidad al encamado, lo que dificultó enormemente su recolección para ensilar. Estudios posteriores demostraron que parte del problema se debió a la variedad de avena utilizada, que no pudo desempeñar su función de tutor para la veza porque es sensible al encamado aún en cultivo raonofito.

La siembra de varios cultivos por año, dos en general, en una misma superficie ha sido una práctica frecuentemente empleada para intensificar la producción de forrajes. Se trata de minimizar el tiempo en que el suelo se mantiene sin cultivo, maximizar la interceptación de radiación solar por los cultivos sucesivos y seleccionar las especies más adaptadas a cada período del año. Es obvio que para los períodos más fríos, las especies preferidas serán las de metabolismo fotosintético C₃, mientras que en verano, con niveles de temperaturas y de radiación elevados, las especies C₄ son las más productivas. Diversos autores han estudiado las producciones de este tipo de rotaciones. Así en Francia, Fleury (1974), Pontailier (1979), Raphalen (1980) y Raphalen y Bloc (1982), trabajando con la rotación maiz (en verano)-raigras italiano (en invierno), obtuvieron producciones de

materia seca (MS) en tomo a 12,81 ha¹ de maiz y 2,7-4,91 ha¹ de raigrce. En BeUgica, Van Bockstaele *et al.* (1979) midieron incrementos de produccion de 1.5-2,5 t ha¹ al pasar del monocultivo del maiz a cultivar maiz-raigras. Por su parte, Murdock y Wels (1978) en Kentucky (EEUU) registraron incrementos de produccion entre 3-41 ha¹ con sistemas de dos cultivos por ano frente al maiz en monocultivo. Crookston *et al.* (1978) observaron un incremento de 7,0 t ha¹ en Minesota (EEUU), al pasar del maiz de monocultivo a maiz-centeno. Okolie;«/. (1984) obtuvieron una produccion de 15,01 ha¹ con la rotacion mai'z-avena en Wisconsin (EEUU). Finaimente, Fuehring (1978) midio un incremento de produccion de 11,41 ha¹ entre el monocullivo de maiz y maiz-cebada (*Hordeum vulgare*) en condiciones de regadio en Nuevo Mejico (EEUU).

Los estudios de Lloveras (1987) realizados en Galicia comparan durante cuatro afios y en ties localidades la productividad de los ocho sistemas de cultivos forrajeros siguientes: a) *Un solo cultivo por aho*: 1) maiz (verano) sin cultivo de invierno ; b) *Dos cultivos por afio*: 2) maiz (verano)-centeno (invierno); 3) maiz (verano)-avena-t-veza (invierno); 4) maiz (verano)-raigras italiano (invierno); c) *Tres cultivos en dox afios*: 5) raigras italiano (invierno)-maiz (verano)-colza (invierno); d) *Dos cultivos en tres anos*: 6) 2 afios de pradera-maiz (rotacion de tres anos); e) *Un cultivo de cuatro afios*: 7) pradera de corta duracion y 8) pradera de larga duraci6n. Estos trabajos muestran que los sistemas de dos cultivos por ano producen en tomo a un 50% mas de MS que los sistemas menos intensivos de praderas o maiz como cultivo unico, obteniendo producciones medias anuales de MS de 11,21 ha¹ en praderas de larga duracion, 11,81 ha¹ en praderas de corta duracion, 18,6 t ha¹ para la rotacion maiz-avena+veza, 15,5 t ha¹ para la rotaci6n maiz-raigras italiano y 13,21 ha¹ para la rotacion raigras italiano-mafz-colza.

Mas tai'de, tambien en Galicia, Pineiro y Perez (1997) compararon los sistemas de producci6n de forraje maiz-raigras italiano, sorgo-raigras italiano y praderas mezcla de raigras italiano con trebol violeta (*Trifolium pratense*), resultando mas productivos los dos primeros. Se midio un incremento de produccion de 6,4 y 2,1 t ha¹ al pasar de la pradera al maiz-raigrfis italiano y al sorgo-raigras italiano, respectivamente.

Laboreo conventional y siembra directa

Los sistemas de no laboreo y minimo laboreo fueron desanrollados en EEUU para tratar de solucionar los graves problemas de erosion edlica e hfdrlica ocasionados por la agricultura.

En otras regiones del mundo como Europa, donde la erosion eolica e Mdrlica no cobra la importancia de las zonas antes citadas, la introduction de sistemas de laboreo de conservation estii en parte asociada al intento de reducir los costes de produccion (Cannell y Hawes, 1994) y tambien al apoyo de la Poh'tica AgrariaComun a estos sistemas de cultivo (AEAC.SV, 2000).

En Galicia, y tambien en el resto de la Espana humeda. la introduction de sistemas de laboreo de conservation, se relaciona tambien con la ya citada intensification de la productidn forrajera al facilitar la introducci3n de dos cultivos por ano (Amiama Ares, 2003), ya que el tiempo disponible para la implantation de un cultivo tras la recoleccion del anterior es muy reducido, realizandose ademas en epocas de elevada pluviometn'a en algunos anos, lo que dificulta en buena medida las labores de cultivo.

El cultivo en condiciones de no laboreo ha sido ampliamente estudiado en muchos lugares del mundo, siendo el maiz una de las especies mas estudiadas. Centrandonos en los cultivos forrajeros, los primeros ensayos de siembra sin laboreo de especies pratenses en Espafia datan de 1964 (Pozo Ibanez, 1967) y dieron resultados muy variables. En la Espana Htimeda, Sineiro (1977) realize los primeros ensayos de implantation de pastes en lerrenos de matorral (transformation de monte a pradera) empleando tecnicas de minimo laboreo, no laboreo y laboreo conventional y obtuvo resultados similares con las tres tecnicas de transformation. Mas retientemente, Mangado (1990) ensayo en Navana la siembra directa de pradera sobre pradera y Balza *et al.* (1994) ia probaron en Pais Vasco sembrando raigras ingles (*Lolium perenne*) y trebol blanco (*Trifolium repens*) detras de una pradera de festuca alta (*Festuea anmdinacea*), tras la aplicacion de glifosato 36% unos 83 dias antes de la siembra. Cruzado ensayo, tambien en Pais Vasco, estas mismas siembras sin tratamiento previo de herbicida (Pineiro, 1998). Las plantas germinaron pero no se consiguio su establecimiento debido a la competencia con la festuca alta. Pineiro y Perez (1995) estudiaron, obteniendo resultados positivos, el establecimiento de raigras italiano alternativo sobre un alfalfar en su cuarto ano de produccidn. tras aplicar paraquat para controlar las malas hierbas que babian ido estableciendose a medida que el alfalfar perdia persistencia.

La siembra directa del maiz forrajero ha sido estudiada en Lugo. Los resultados obtenidos muestran que las producciones obtenidas son equivalentes a las del laboreo conventional (Bueno, 1997). Tambien en Lugo se han estudiado diversos sistemas sin laboreo de raigras italiano (Amiama Ares, 2003), en los que se pone de manifiesto la viabilidad tecnica y economica de esios sistemas.

Otros estudios realizados en Galicia empleando la tecnica de la siembra directa sobre dos rotaciones de dos cultivos por ano, en los que se ensayaron el raigras italiano alternativo como cultivo de invierno y el raai'z forrajero 6 el hJbrido de sorgo x pasto de Sudan como cultivos de verano (Bordegaray *et al.*, 1996; Pineiro y Perez, 1996; Rodriguez *et al.*, 1996 y 1997) indican que no hubo practicamente diferencias enire la siembra directa y la conventional en las producciones de raigras italiano y de sorgo. La production de maiz forrajero en siembra directa fue, sin embargo, un 15% inferior a la siembra conventional en tres de las cuatro localidades ensayadas, y muy inferior en la cuarfa, probablemente debido a la naturaleza mas pesada del suelo.

El maiz forrajero es el principal cultivo establecido por metodos de siembra directa en Galicia, habiendo llegado a alcanzar una superficie estimada en unas 15,000 ha (Gonzalez Lemos, 2003).

Efecto del déficit hídrico: regadío y secano

A pesar de la naturaleza húmeda del clima de Galicia, el déficit hídrico producido en el verano es el principal factor limitante a la producción. Su eliminación por medio del riego es, normalmente, el camino más efectivo para intensificar la producción de los cultivos (Ruiz Nogueira *et al.*, 2001; Lopez Cedron *et al.*, 2002; Sau *et al.*, 2002). La producción de biomasa y grano se reduce cuando estos se ven sometidos a un déficit hídrico, como consecuencia del cierre estomático, con el consiguiente descenso de la evapotranspiración, y de la reducción del Índice de Área Foliar (IAF), que provoca un menor porcentaje de radiación interceptada (Monteith, 1972; Karlen y Camp, 1985; Parvez *et al.*, 1989).

La influencia del sistema de siembra (laboreo convencional frente al no laboreo) sobre el déficit hídrico ha sido puesto de manifiesto por numerosos autores, y la utilidad del no laboreo para la conservación del agua del suelo está bien documentado en otras regiones (Blevins *et al.*, 1971; Jones *et al.*, 1969; Waggener y Denton, 1989). La mayor conservación de la humedad en los sistemas de no laboreo, se atribuye al efecto de los residuos del cultivo precedente, que, al ejercer un efecto de pantalla, reducen la evapotranspiración del cultivo (Munawar *et al.*, 1990; Dick *et al.*, 1992).

El agua ha sido siempre un bien muy apreciado y origen de muchos conflictos entre vecinos a la hora de administrar un bien siempre escaso en pequeños regadíos históricos, que se limitan a las cuencas de pequeños ríos o de pequeños manantiales. Las superficies de prados {denominados 'prados naturales' en Anuario de Estadística Agraria del MAPA} se asociaron históricamente a la existencia de agua de riego -de pequeños regatos y manantiales- hasta la década los años cincuenta del siglo XX, en la que se inició el desarrollo de nuevas superficies sembradas a praderas (denominadas 'praderas polifitas' en Anuario de Estadística Agraria del MAPA), que experimentaron un crecimiento espectacular en la segunda mitad del siglo, paralelo a la de la producción de leche de vacuno. La investigación realizada en los años cincuenta sobre praderas y su posterior divulgación ayudaron a modificar la opinión ancestral de los agricultores y ganaderos gallegos de que solamente se podía producir hierba en zonas encharcadas o con regadío, aunque solo fuese ocasional. Esto permitió ampliar la zona de pastos a las tierras donde tradicionalmente se cultivaba el trigo, las patatas y los nabos, y a tierras ocupadas previamente por matorrales. Es también histórico y muy apreciado el riego del cultivo del maíz en los valles de Rías Baixas (Pontevedra) y Lemos (Lugo), y del cultivo de la patata en Xinzo de Limia (Ourense). A pesar de ello, el efecto del riego sobre los cultivos ha sido poco estudiado hasta el momento. La cuantificación de su efecto en estudios recientes muestra importantes incrementos de producción ya que se suele producir un importante déficit hídrico durante los meses de verano (Ruiz Nogueira *et al.*, 2001; Lopez Cedron *et al.*, 2002), lo que justifica la práctica ancestral del riego allí donde los agricultores pudieron disponer de agua para sus cultivos.

MATERIAL Y METODOS


Localization de los ensayos

Serealizaron ensayos de campo durante 5 anos consecutivos, desde septiembre de 1997 hasta octubre de 2002. Estos ensayos corresponden con los anos agricolas 1997/1998, 1998/1999,1999/00,2000/2001 y 2001/2002. El campo de ensayos se ubic6 en la Finca de Practicas de la Escuela Politecnica Superior (EPS) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) situada en Lugo (43 W N; 7°30' O; 480 m de altitud).

Caraeteristicas del suelo

Las principales caraeteristicas del perfil del suelo estan recogidas en la Tabla 1. Todos los horizontes del perfil tienen una textura franco-arenosa, con un contenido en arcilla en torno al 12% en los dos primeros horizontes, que llegan hasta los 40 cm de profundidad, y en torno al 7% en los horizontes siguientes. El pH en agua del suelo es proximo a 5,5. La parcela tiene una ligera pendiente (entre el 2% y el 2,5%) en direccion sudeste.

TABLA 1
Principals caraeteristicas del perfil del suelo de ta parcela experimental.
Main soil profile characteristics of the experimental field.

Horizonte	Profundidad (cm)	Car bono Organico (.%)	PH (enH,0)		Arcilla	Limo
Apl	0-20	4,4	5,5	1,29	12,8	28,0
Ap2	20-40	2,9	5,5	1,31	10,9	14,8
BC	40-50	2,2	5,8	1,37	7,3	12,5
C	>50	1,9	5,8	-	7,2	8,2

Observaciones meteorologicas

En la Tabla 2 se recoge el resumen de los datos meteorologicos de los anos de ensayo. Los datos de temperaturas y precipitacion se obtuvieron mediante una estacion meteo-
vologica automatizada, situada en las proximidades del ensayo, cuyos sensores estaban conectados a un "data logger" (Delta-T Logger de Delta-T Devices, Cambridge, Reino Unido). La radiaci6n global (RG) se estimo a partir del nuraero de horas de sol medido en el Observatorio Meteorologico de Rozas (provincia de Lugo) que depende del Instituto National de Meteorologia, uttlizando la ecuacion de Angstrom (Allen *et al.*, 1998).

TABLA 2

Medias mensuales de la radiation solar global incidents diaria (RG), medias mensuales de la temperatura maxima (Tmax) y minima (Tmin) diaria y precipitation mensual acumulada (P) desde septiembre de 1997 hasta octubre de 2002.

Monthly averages of incidence daily solar radiation (RG), daily maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperatures, and monthly accumulated rainfall (P) from September 1997 to October 2002.

Ano 1997														
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
RG	(MJm²Mia⁻¹)										12,6	72	37	30
Traax	CC)										24,6	20,2	13,3	11,0
Train	("Cl										12,1	11,0	70	37
P	(mm)	-	-	-							39,6	182,2	215,8	133,0

Ano 1998													
		E	F	M	A	M	J	i	A	S	O	N	D
RG	(MJm ² di V)	5,6	9,6	13,4	12,7	19,2	20,4	21,1	20,0	12,6	8,9	4,6	3,5
Train	CO	11,8	15,7	16,9	12,5	19,2	22,5	23,7	27,4	22,2	17,3	15,5	10,5
Train	IT)	4,0	19	4,9	5,0	8,2	10,2	12,7	14,2	12,3	8,3	7,0	0,5
P	(mm)	71,0	28,8	56,0	327,6	72,8	13,2	38,0	16,8	106,4	25,6	48,4	50,1

Aliao 1999													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJtirdiV ¹)	49	84	12,1	15,5	17,0	21,1	21,6	19,7	13,0	87	62	41
Traas	TO	11,2	11,3	14,0	15,7	18,7	20,6	26,0	24,8	21,6	17,1	12,2	10,3
Train	TO	22	05	30	49	87	10,6	13,9	12,9	12,0	89	38	30
P	(mm)	90,8	55,6	128,5	108,1	81,6	18,2	60	59,0	163,4	175,4	70,6	139,2

Aliao 2000													
		M	A	M	J		J	A	S		O	N	D
RG	(.MJm ² -dia ¹)	68	7,1	13,2	11,1	17,3	22,4	19,9	19,7	14,6	8,4	4,2	3,0
Traas	CO	99	13,7	15,7	12,2	19,2	24,4	23,1	25,3	24,0	16,8	12,0	12,3
Tmin	CO	-1,4	45	2,7	4,8	8,6	10,2	12,8	12,3	10,7	7,2	5,5	6,3
P	(mm)	45,6	44,2	39,6	221,0	114,4	4,4	53,2	26,4	50,8	115,4	287,0	342,0

Ano 21X11													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJm ⁻¹ ·diV ¹)	4,1	9,4	8,4	15,9	19,0	21,5	19,1	18,7	16,5	10,9	6,0	4,2
Tmfc	fC)	10,4	12,6	13,1	14,8	19,7	23,9	23,!	25,6	21,6	19,3	12,4	S,9
TIM	{°C	<6	2,1	6,4	5,0	7,8	10,7	12,3	12,8	9,8	9,5	3,0	1,7
P	(rain)	257,7	104,0	305,2	66,2	83,0	17,8	61,5	76,0	80,0	170,6	7,9	35,4

Ano 2002													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJnr ⁻¹ ·dia ¹)	3,7	6,1	10,6	14,1	14,2	17,4	19,3	16,3	12,3	7,1	3,4	
TIIM	TO)	11,9	12,4	15,3	16,7	16,1	21,7	23,5	23,6	23,3	18,8	12,5	
M n	(T)	3,1	3,8	4,1	3,7	6,0	10,6	11,6	11,9	10,8	9,5	5,8	
P	(rara)	75,3	94,0	40,2	18,4	85,9	52,1	13,5	14,8	59,2	211,0	268,3	

Factores, tratamientos y diseno experimental

Factores estudiados

Se estudiaron los tres factores siguientes:

- 1) Dos rotacion de cultivos:
 - a) Rotación de dos cultivos por ano, de RaigrSs Italiano Altemativo (RIA) o anual -en invierno-, y Maiz (M) forrajero -en verano- vs b) Raigras Italiano No Altemativo (RINA) o bianual.
- 2) Dos tipos de laboreo:
 - a) Laboreo Convencional (LC) vs b) Siembra Directa (SD).
- 3) Dos niveles de riego:
 - a) Secano (S) vs b) Riego (R) agua no limitanie.

Tratamientos y diseno experimental

Los dos tipos de laboreo se aplicaron solamente a las rotaciones de dos cultivos por ano. Para el raigras italiano altemativo se utilizfj solamente la siembra convencional, resultando un total de seis tratamientos, que se replantearon en el campo experimental con un diseno en parcelas divididas (split-plot), con cuatro repeticiones, en el que la *parcela principal* correspondió al nivel de agua aplicada (secano vs regadi'o) y la subparcela la combinación de rotación de cultivo con tipo de laboreo (dos cultivo por ano con laboreo convencional, dos cultivos por ano con siembra directa, y raigras italiano bianual con

laboreo convencional a 1). Las subparcelas fueron de 12,0 m x 7,0 m (84,0 m²), que para el caso del maíz coexistieron en 16 líneas de 7 m de longitud, con 75 cm de separación entre líneas.

Relation de tratamientos

Se establecieron los seis tratamientos siguientes, los tres primeros en secano y los tres últimos en riego:

- Raigras italiano alternativo -maíz con laboreo convencional en secano.
- Raigras italiano alternativo-maíz con siembra directa en secano.
- Raigras italiano no alternativo con laboreo convencional en secano.
- Raigras italiano alternativo-maíz con laboreo convencional en riego.
- Raigras italiano alternativo-maíz con siembra directa en riego.
- Raigras italiano no alternativo con laboreo convencional en riego.

Para poder evaluar el efecto de la falta de agua en los cultivos sin interferencia de otros factores, se han mantenido todos los tratamientos en condiciones no limitantes tanto de fertilizantes como de densidades objetivo de plantas. Además se mantuvieron las parcelas libres de plagas y de enfermedades.

Dosis de siembra y variedades

Raigras Italiano Alternativo cv Promenade: 40 kg ha⁻¹ repartidos a voleo. Raigras Italiano No Alternativo cv Exalta: 30 kg ha⁻¹ repartidos a voleo. MAÍZ ciclo 200 cv Clarica: 200 000 semillas ha⁻¹ con separación entre líneas de 75 cm y aclareo manual cuando la plántula tenía una altura de 20 cm para dejar la densidad final de 100 000 plantas ha⁻¹.

Laboreo del terreno y siembra

En el otoño de 1997 se preparó el suelo mediante Laboreo Convencional consistente en un pase cruzado de grada pesada de discos movida por tractor, abonado de fondo y otro pase cruzado de grada para la siembra del raigras italiano alternativo o anual (fase de invierno de la rotación de dos cultivos por año) y del raigras italiano no alternativo o bianual. Apartir de la primavera de 1998, el maíz y el raigras se sembraron manualmente en las parcelas de Laboreo Convencional, con preparación previa del terreno con cultivador y fresadora, y con una máquina especializada en las de Siembra Directa, sin laboreo previo.

Fechas de siembra

Se recogen en la Tabla 3.

TABLA 3

Fechas de siembra de los cultivos en los años de ensayo.

Sowing dates of the crops for the experimental years.

		Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
Maíz	LC?	-	14 mayo	24 mayo	18 mayo	19 mayo	8 mayo
	SD ^b	-	15 mayo	24 mayo	18 mayo	19 mayo	9 mayo
RIA"	LC ^b	24 sept.	21 oct.	8 oct.	27 oct.	26 oct.	
	SD ^b	24 sept.	7 oct.	8 oct.	25 oct.	25 oct.	
RIÑA'	24 sept.	-	Soct.		26 Oct.	-	

RIA: Raigrás italiano alternativo (annual ryegrass); RIÑA: Raigrás italiano no alternativo (biannual ryegrass)

"LC: Laboreo convencional (conventional tillage); SD: Siembra directa (direct drilling).

Abonados, enmiendas y cortes del raigrás

Las dosis aplicadas a cada cultivo en los diferentes años experimentales se describen a continuación.

Año 1997

- Raigrás italiano alternativo y no alternativo: abonado de establecimiento de 60, 44 y 104 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente, así como una enmienda de 1000 kg ha⁻¹ de caliza en todas las parcelas.

Año 1998

- Maíz: abonado de establecimiento del 20, 26 y 133 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente, y en cobertura se aportaron 200 kg ha⁻¹ de N en el estadio de 7-9 hojas expandidas.

- Raigrás italiano alternativo; abonado de establecimiento de 60, 44 y 104 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente.

- Raigrás italiano no alternativo: abonado de mantenimiento de 60, 44 y 104 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente.

Año 1999

- Maíz; abonado de establecimiento de 180, 39 y 179 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente. que se complementaron con 210 kg ha⁻¹ de N. A partir de este año el nitrógeno complementario de los tratamientos de secano se aplicó con el resto del abonado para evi-

tar que quedase sin incorporar al suelo en el caso de que no lloviese suficientemente. En regadío se siguió aportando nitrógeno en cobertera en el estado de 7-9 hojas expandidas, como ya se describió para 1998.

- Raigras italiano alternativo y no alternativo: *idem* que en 1997.

Año 2000

- Maíz: *idem* que en 1999.
- Raigras italiano alternativo y no alternativo: *idem* que en 1998.

Año 2001

- Maíz: *idem* que en 1999.
- Raigras italiano alternativo y no alternativo: *idem* que en 1997.

Año 2002

- Maíz: *idem* que en 1999.

Además en el caso del raigras italiano, tanto para el alternativo como para el no alternativo, se realizaron diferentes aportaciones de N en cobertera que se describen a continuación: 60 kg ha⁻¹ en cobertera a la salida del invierno (febrero) y 60 kg ha⁻¹ tras cada corte, exceptuando el corte que precede la siembra del maíz en el raigras alternativo y el que precede a la renovación tras dos años de permanencia de la pradera en el no alternativo. En la Tabla 4 se indica la cantidad total de abonado nitrogenado aportada cada año a los cultivos sucesivos. En la Tabla 5 se muestra el número de cortes efectuado al raigras en los años de ensayo.

TABLA 4

Cantidad total (kg ha⁻¹) de N aplicada cada año a los distintos cultivos.

Total N (kg ha⁻¹) supplied annually to various crops.

		Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
MAÍZ			320	390	390	390	390
MA-		60	180	180	120	120	180
RINA^a	R[*]	60	420	360	360	300	360
	S^b	60	300	120	180	300	300

^aRIA: Raigras italiano alternativo (annual ryegrass); RINA: Raigras italiano no alternativo (biannual ryegrass)

^bR: Regadío (irrigated); S; Secano (rainfed).

TABLA 5

Numero de cortes efectuados al raigras italiano, alternativo y no alternativo, durante los años de ensayo.

Number of harvests in annual and biannual ryegrass during the experimental years.

		Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
RIA"		1	2	2		1	2
	R ^b	1	6	5	5	4	5
RINA"							
	S"	1	4	0	2	4	4

^aRIA: Raigras italiano alternativo (annual ryegrass); RINA: Raigras italiano no alternativo (biannual ryegrass)

^bR: Regadio (irrigated); S: Secatio (rainfed).

El abonado de establecimiento fue incorporado mediante labores inmediatamente antes de la siembra del raigras y del maíz de laboreo convencional. En siembra directa se esparció en superficie. En el caso del raigras no alternativo, el abonado de establecimiento se realizó en otoño, incorporándolo al suelo y el abonado de mantenimiento se realizó también en otoño, sin incorporación.

Riegos

En los tratamientos de regadio, se regó sistemáticamente cada vez que las lecturas tensométricas a 45 cm de profundidad en el maíz, y a 35 cm en el raigras, se situaban por debajo de -50 cbar. La dosis aportada en cada riego permitía que el suelo volviera a capacidad de campo. Siguiendo estos criterios las aplicaciones realizadas fueron:

TABLA 6

Aportes totales de agua de riego (mm) en los años de ensayo.

Total amount of water (mm) applied to irrigated treatments during the experimental years.

	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
Maíz	305	250	295	250	260
RINA'	300	185	285	227	245

' RINA: Raigras italiano no alternativo (biannual ryegrass).

Tratamientos fitosanitarios

Se aplicó 2,4 D (27,5%) + MCPA (27,5%) antes del primer corte del raigras, a una dosis de un L ha⁻¹, de producto comercial para combatir las malas hierbas de hoja ancha emergidas tras la siembra. Se efectuaron en 1997, 1998 y 1999 excepto en las parcelas de

siembra directa establecidas en los otoños de 1998 y 1999 que no tuvieron prácticamente malas hierbas; glifosato (36%) en las parcelas de siembra directa, tanto antes de la siembra de maíz como de raigras, a una dosis de cinco L ha⁻¹ de producto comercial; alacloro (35%) + atrazina (20%) a una dosis de cinco L ha⁻¹ de producto comercial en preemergencia en las parcelas de maíz.

Aprovechamientos y muestreos

Raigras

Para estimar la evolución temporal de la producción de biomasa, se realizaron muestreos, mediante corte de una superficie de 0,25 m² en cada parcela a cinco cm del suelo, cada 15 días aproximadamente. Además, cuando la hierba superó los 50 cm de altura se procedió a la siega de la parcela entera y se pesó la producción de una superficie de 12 m².

Maíz

Se realizaron muestreos, mediante cortes de una superficie de 0,50 m² en cada parcela a ras del suelo, cada 15 días y se cosechó toda la parcela en estadio pastoso-duro, pesándose la producción de una superficie de 6 m².

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 7 se indican las producciones anuales totales de materia seca (t ha⁻¹) de los diferentes tratamientos, mientras que en la Tabla 8 se presentan las producciones anuales de materia seca (t ha⁻¹) de los dos componentes de la rotación raigras italiano alternativo-maíz (RIA-M).

Producción de biomasa del raigras italiano no alternativo)

Las producciones de las parcelas de raigras italiano no alternativo regadas superaron a las de secano en un 30% durante el primer año. Las diferencias de producción se registraron a partir del final de la primavera, al producirse un elevado déficit hídrico durante el verano del primer año experimental (1997-1998). Durante el verano de 1998, el raigras del tratamiento de secano se secó completamente debido a la combinación del déficit hídrico con el estrés de temperatura (Tabla 2). Se trata de un efecto frecuente en las zonas de Galicia con veranos relativamente cálidos y con escasez de lluvias, en las que el raigras italiano no alternativo o bianual puede comportarse como un cultivo anual, desapareciendo con el paso del primer verano, tras la siembra en el otoño anterior (Pineiro *et al.*, 2001).

Durante el tercer año, tras la renovación de las parcelas el 8 de octubre de 1999, la producción del regadío duplicó a la del secano, y consiguió superar el verano del año 2000, a pesar de que la sequía fue más precoz que en 1998, lo cual permitió el rebrote otoñal en el cuarto año. Las temperaturas y precipitaciones de julio-agosto (Tabla 2) fueron ligeramente inferiores y superiores, respectivamente, lo cual pudo favorecer la mayor tasa de supervivencia de la pradera. No obstante la pradera quedó muy debilitada y el cuarto año la producción de regadío superó a la de secano en un 85%, a pesar de que el verano fue relativamente lluvioso (Tabla 2). La pradera se renovó de nuevo el 26 de octubre de 2001, siendo las producciones del regadío superiores a las del secano en un 34%. Junio de 2002 fue lluvioso pero las precipitaciones de julio-agosto fueron escasas (Tabla 2).

TABLA 7

Producción total de materia seca ($t\ ha^{-1}$) de los diferentes tratamientos durante los años de ensayo (desde septiembre de 1997 hasta octubre de 2002).

Total biomass production ($t\ ha^{-1}$) for each treatment and experimental year (from September 1997 to October 2002).

	Sept 97- Sept 98	Oct98" Sept 99	Oct 99- Sept 00	Oct 00- Sept 01	Oct 01- Oct 02
RINA'					
Regadío	20,45	15,10	15,84	12,01	15,04
Secano	15,74	0,00	7,85	6,51	11,25
RIA-Maiz LC^a					
Regadío	33,08	29,17	26,26	24,03	27,48
Secano	24,02	21,99	21,00	22,23	19,12
RIA-Maiz SD^a					
Regadío	33,50	31,59	24,74	24,24	25,57
Secano	22,71	23,64	18,13	20,68	19,32
Valores medios					
RINA"	18,09 b	7,55 c	11,84 c	9,26 b	13,14b
RIA-Maiz LC ^a	28,55 a	25,58 b	23,63 a	23,13 a	23,30 a
RIA-Maiz SD [*]	28,11 a	27,61 a	21,43 b	22,46 a	22,45 a
Regadío	29,01 a	25,28 a	22,27 a	20,09 a	22,70 a
Secano	20,82 b	15,21b	15,66 b	16,47 b	16,56 b
Análisis estadístico					
Rotación (Ro)					
Riego(R)	***	***	***	*	
Interacción (Ro x R)	***	***	NS	NS	
CV ^h (%)	4,34	5,61	7,34	10,12	5,90

^aRIA: Raigras italiano no alternativo (biannual ryegrass); RtA: Raigras italiano alternativo (biannual ryegrass); LC: Laboreo convencional (conventional tillage); SD: Siembra directa (direct drilling).

t V : Coeficiente de variación (coefficient of variation).

*, **, ***: Diferencias significativas al 5%, 1% y 1 %> respectivamente (significant differences at 5%, 1% and 1 %, respectively); NS: Diferencia no significativa (no significant difference).

Los valores seguidos de la misma letra dentro de una misma columna no presentan diferencias significativas (values of the same column followed by the same letter do not differ significantly).

TABLA 8

Production anual de materia seca (t ha⁻¹) de los dos componentes de la rotation Raigras italiano alternativo-Maiz forrajero.

Dry matter annual forage production (t ha⁻¹) of the two components of the rotation Annual ryegrass-Forage maize.

	Sept97-Sept98		Oct98-Sept99		Oct99-Sept00		Oct 00-Sept 01		Oct01-Oct02	
	RIA ^a	Maiz	RIA ^a	Maiz	RIA ^a	Maiz	RIA ^a	Maiz	RIA ^b	Maiz
RIA-Maiz LC^a										
Regadio	7,39	25,69	5,10	24,06	2,74	23,52	3,18	20,84	6,82	20,65
Secano	7,39	16,63	6,29	15,69	3,93	17,07	3,15	19,08	6,80	12,31
RIA-Maiz SD³										
Regadio	7,51	25,99	8,14	23,44	4,20	20,54	2,98	21,26	5,32	20,25
Secano	7,28	15,43	9,57	14,06	4,97	13,16	3,96	16,71	6,39	12,93
Análisis estadístico										
Sistema de siembra (S)	NS	NS					NS	NS	NS	NS
Riego (R)	NS	***	NS	***	NS	**	NS	*		
Interacción (S x R)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
CV^c (%)	4,34	6,40	11,16	4,72	16,32	7,21	16,61	5,76	13,61	5,66

^aRIA: Raigras italiano alternativo (biannual ryegrass); LC: Laboreo convencional (tillage); SD: Siembra directa (direct drilling).

^cCV: Coeficiente de variación (coefficient of variation).

*, **, ***: Diferencias significativas al 5%, 1% y 1 %> respectivamente (significant differences at 5%, 1% and 1 %, respectively); NS: Diferencia no significativa (no significant difference).

Los valores seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (values of the same column followed by the same letter do not differ significantly).

Producción de biomasa del raigras italiano alternativo

A partir de la siembra del otoño de 1998, inicio del segundo año experimental, y de la aplicación de los tratamientos de siembra directa al raigras italiano alternativo, las producciones de las parcelas de siembra directa fueron significativamente superiores en un 55% y 35% a las de laboreo convencional en el segundo y tercer año, respectivamente (Tabla 8). En el segundo año esto puede deberse a que las parcelas de laboreo convencional se sembraron 14 días más tarde, y a que las de siembra directa no recibieron herbicidas (2.4 D+MCPA) ni en el segundo ni en el tercer año. Al no remover el suelo tras el cultivo de verano, emergieron limpias de malas hierbas, mientras que fue necesario utilizarlos en los tratamientos de laboreo convencional. En los años cuarto y quinto, al ser las fechas de siembra similares y no ser necesaria la aplicación de 2.4 D+MCPA, no se encontraron diferencias significativas entre sistemas de siembra, lo que coincide con los resultados obtenidos por otros investigadores en Galicia (Pineiro y Perez, 2000), y en la Cornisa Cantábrica (Rodríguez *et al*, 1996). No obstante, estos resultados difieren de los obtenidos por Amiama Ares (2003), en la provincia de Lugo, en un suelo con mayor porcentaje de arcilla, en los que los tratamientos de laboreo convencional fueron más productivos que los siembra directa.

Se pudo comprobar *de visu* que, en general, el establecimiento del raigras fue mejor en las parcelas de siembra directa, debido a que las Uruvias otoñales suelen impedir que el suelo se encuentre en el tempero adecuado para una buena preparación de la cama de siembra mediante laboreo convencional. *No obstante, el retraso de las Uruvias de otoño* observado en el último año experimental (2001-2002), permitió el buen establecimiento de las parcelas de laboreo convencional, observándose por el contrario un retraso en el crecimiento de las parcelas de siembra directa, posiblemente debido a un mayor efecto residual del herbicida (Alacloro+Atracina) aplicado al maíz en este tipo de siembra al no producirse la mezcla, y correspondiente dilución, del herbicida con la tierra del perfil de laboreo del suelo.

Por otro lado, las producciones de raigras de las parcelas precedidas por maíz en secano, resultaron superiores a las del cultivo en regadío en 20%, 28%, 15% y 9% en el segundo, tercer, cuarto y quinto años, respectivamente), aunque estas diferencias sólo fueron significativas el último año (Tabla 9). Las diferencias a favor del cultivo en secano parecen ser consecuencia de la mayor extracción de nutrientes asociada a la mayor producción del maíz regadío que en secano. A pesar de que las dosis de abonado aplicadas fueron superiores a las necesarias para cubrir las extracciones del cultivo en N, P y K, es posible que el nivel de N aplicado estuviese todavía en la franja de respuesta al abono nitrogenado.

Los rendimientos medios en los cinco años estudiados fueron de 5,05 t ha⁻¹ de MS para laboreo convencional en regadío, 5,51 para laboreo convencional en secano, 5,63

para siembra directa en regadío y 6,43 para siembra directa en secano, valores superiores a las 41 ha⁻¹ de MS obtenidas como promedio por Lloveras (1987 y 1990), que estudió en Galicia los cultivos forrajeros de invierno para rotaciones intensivas con maíz, y también superiores a las conseguidas en el sistema raigras italiano alternativo-maíz en Francia y Bélgica (Pieters, 1981; Raphalen, 1980). Otro estudio realizado también en zona costera de Galicia (Pineiro *et al.*, 2001) indica producciones más altas, de 7,5 t ha⁻¹ de MS, en siembra en 15 de octubre y finales de abril, para raigras italiano alternativo si bien este cultivo no estaba incluido dentro de una rotación.

Production de biomasa del maíz

Las producciones medias de los tratamientos de maíz forrajero en regadío superaron ampliamente a los del secano en 61 %, 60 %, 46 %, 18 % y 62 % en 1998, 1999, 2000, 2001 y 2002, respectivamente (Tabla 8). El verano del año 2001 fue el más lluvioso de los cinco años (Tabla 2), lo que se refleja en la menor respuesta del rendimiento al riego.

En el primer año (1998), no se encontraron diferencias de producción atribuibles al sistema de siembra. En los dos años experimentales siguientes, las producciones fueron significativamente superiores en los tratamientos de laboreo convencional a los de siembra directa en 6 % y 20 % (1999 y 2000, respectivamente; Tabla 8). Finalmente, en los dos últimos años experimentales (2001 y 2002) no se detectaron diferencias significativas atribuibles al sistema de siembra empleado. También Pineiro y Perez (2000), en otras localidades de Galicia, obtuvieron producciones inferiores con siembra directa que con laboreo convencional. Sin embargo, observaron que las diferencias se acentuaban con el paso de los años, tendencia que no se detectó en nuestros ensayos. Pineiro y Perez (1996) indican que las mayores diferencias entre sistemas de siembra se dan en los suelos más pesados, por lo que no recomiendan el empleo de siembra directa en estas condiciones. Sin embargo la consideran una alternativa válida en condiciones de texturas más favorables como puede ser el caso de nuestros ensayos.

Las producciones medias de los cinco años estudiados fueron de 22,95 t ha⁻¹ de MS para laboreo convencional en regadío, 16,16 para laboreo convencional en secano, 22,30 para siembra directa en regadío y 14,46 para siembra directa en secano. En condiciones de secano, estos valores son similares o superiores a los obtenidos por otros autores en distintas localidades de Galicia; 12 t ha⁻¹ de MS en monocultivo y 12,41 ha⁻¹ en rotación anual (Lloveras, 1987); 15-17 t ha⁻¹ de MS en monocultivo (Lloveras, 1988) y también similares o superiores a los conseguidos por el maíz (siempre en condiciones de secano) en otras zonas. En el oeste de Francia, Pontailler (1979), Raphalen (1980) y Raphalen y Bloc (1982), en el sistema maíz-raigras italiano obtienen producciones de 131 ha⁻¹ de MS. En Bélgica, Van Bockstaele *et al.* (1979) señalan rendimientos de 13-141 ha⁻¹ de MS para el maíz en rotación con raigras. En Nueva Zelanda, Hughes (1985) obtiene producciones

de 14 t ha⁻¹ de MS dentro de la rotación maíz-avena. En Kentucky, Murdock y Wells (1978) describen producciones de 16-17 t ha⁻¹ de MS para el maíz en monocultivo. En condiciones de regadío, Fuehring (1978) en Nuevo México obtiene producciones tan solo ligeramente superiores a las 15 t ha⁻¹ de MS, valor muy inferior al conseguido en nuestras condiciones.

Producción de biomasa total de las rotaciones estudiadas

La producción de la rotación más intensiva, de raigras italiano alternativo-maíz, aventajó ampliamente a la menos intensiva, de raigras italiano no alternativo o Manual, en todos los casos (Tabla 8), hasta el punto de que la rotación de raigras italiano-maíz de secano superó al raigras italiano bianual de regadío en un 39%, como promedio de los cinco años estudiados.

Dentro de la rotación raigras italiano alternativo-maíz, no se encontraron diferencias atribuibles al sistema de siembra en los años 1997-98, 2000-01 y 2001-02. En el año 1998-99, las producciones de los tratamientos de siembra directa superaron a las de laboreo convencional, debido a las mayores producciones del raigras de siembra directa durante el invierno, ya que las producciones de los maíces en verano han sido algo superiores en las parcelas laboreo convencional. Esta tendencia se invirtió en el año 1999-00, siendo las producciones de los tratamientos laboreo convencional superiores a las de los de siembra directa. Esto fue debido a la menor producción del maíz en siembra directa, ya que la producción del raigras en siembra directa durante el invierno fue superior. Por tanto, estos datos experimentales parecen mostrar que, en general y considerando la media de producción de años sucesivos, la técnica de siembra no afecta a la producción de la rotación raigras italiano alternativo-maíz. Sin embargo otras investigaciones realizadas en Galicia y la Cornisa Cantábrica (Pineiro y Pérez, 2000; Rodríguez *et al*, 1996), encuentran producciones algo superiores en laboreo convencional que en siembra directa, obteniendo los peores resultados en siembra directa, como ya se ha indicado) para los diferentes componentes de las rotaciones, en suelos más pesados que los de nuestro ensayo. Además, las menores producciones del maíz en siembra directa dentro de la rotación son las responsables de este hecho, ya que no encuentran diferencias significativas entre los tratamientos para las producciones de raigras.

También dentro de la rotación raigras italiano alternativo-maíz, los tratamientos de regadío superaron a los de secano, debido a las mayores producciones del maíz en regadío, ya que las producciones de las parcelas de raigras precedidas de maíz en secano fueron superiores a las de las precedidas de maíz en regadío, durante cuatro de los años ensayados. En este estudio queda claro que en Lugo el rendimiento en biomasa del maíz, y en consecuencia de su rotación con raigras italiano alternativo, puede verse muy

beneficiado por la utilización del riego. De hecho, la producción media de los cinco años de estudio de la rotación en regadío supera al secano en un 31 %.

Considerando solamente la rotación de dos cultivos por año, las producciones medias de los cinco años, se situaron en 28,001 ha⁻¹ de MS para laboreo convencional en regadío, 21,67 t ha⁻¹ para laboreo convencional en secano, 27,93 t ha⁻¹ para siembra directa en regadío y 20,90 t ha⁻¹ para siembra directa en secano, valores que en condiciones de secano, superan a los obtenidos en otros ensayos realizados en Galicia. Son producciones superiores a las obtenidas por Lloveras (1987) (15,5 t ha⁻¹ de MS para la rotación maíz-raigras; 16,61 t ha⁻¹ de MS para el maíz-centeno; 18,61 t ha⁻¹ de MS para el maíz-avena+veza) y Pineiro y Perez (1997) (17,11 t ha⁻¹ de MS para el maíz-raigras italiano), todas ellas en condiciones de secano.

Si comparamos nuestras producciones medias de los tratamientos de secano con las obtenidas en otros lugares, vemos que son superiores a las 13-18 t ha⁻¹ de MS obtenidas para el maíz-raigras en el oeste de Francia (Raphalen, 1980), también a las 14-16 t ha⁻¹ de MS señaladas por Van Bockstaele *et al.* (1979) para el maíz-centeno en Bélgica o a las 15 t ha⁻¹ de MS del maíz-avena en Wisconsin (Okolietal, 1984). Son no obstante, similares a las 20,61 t ha⁻¹ de MS obtenidas en Kentucky (Murdock y Wells, 1978) e inferiores a las 24 t ha⁻¹ de MS obtenidas en Nueva Zelanda con la rotación maíz-avena (Hughes, 1985), a las 22-23 t ha⁻¹ de MS de Iowa (Helsen y Wedin, 1981) o a las 25,9 t ha⁻¹ de MS del sistema maíz-centeno en Minnesota (Crookston *et al.*, 1978).

Las producciones medias obtenidas en condiciones de regadío son ligeramente superiores a las señaladas para el sistema maíz-cebada en Nuevo México por Fuehring (1978) en donde la producción media fue de 26,6 t ha⁻¹ de MS.

CONCLUSIONES

Con la rotación forrajera más intensiva ensayada, en la que se siembran en rotación anual raigras italiano alternativo, en invierno, y maíz forrajero, en verano, se obtienen producciones de biomasa muy superiores a la pradera bianual de raigras italiano no alternativo, superando incluso la producción de la rotación en secano a la de la pradera bianual en regadío. Estos resultados son atribuibles a la mejor adaptación del cultivo C₄ a las condiciones de crecimiento durante el verano.

El riego en verano es un importante factor de producción en Galicia. En el conjunto de los cinco años de ensayo, se han obtenido incrementos de producción debidos al riego que oscilaron entre el 30% y el 102 % para el raigras italiano no alternativo o bianual, entre el 18% y el 62% para el maíz forrajero, y entre el 13% y el 43% para la rotación de raigras italiano alternativo o anual y maíz forrajero.

La produccirjn de la rotacion raigras italiano anuai-mafz forrajero establecida por laboreo convencional es similar a la de la establecida por siembra directa.

AGRADECIMIENTOS

Esfe trabajo fue iinanciado por el proyecto SC97-077-C5-5 - Programa sectorial de I+D agrario y alimentario del MAPA, Espana.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEAC.SV. 2000. Situacirn actual de la agricultura de conservacion. *Agricultura de Conservacion*, 12, 6-7.
- AMIAMA ARES, C. 2003. *Siembra sin laboreo de raigras italiano. Influencia de la naturaleza y esrado del rmtrojo del cuhivo precedents y cotnparacirn con el laboreo convencional de prupiedades ffsieas del s-uelo, respuesta del cullivo y aspechis eeconomieos*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela (Espana).
- BALZA, R.; CRUZADO, P.; LUQUIN, J., 1994. Resiembra directa de praderas sin laboreo previa aplicacion de herbicida total. *Adas de la XXXIV Reunion Cientffica de la Sociedad Espanola pari: el Estudio de losPastos*: 469-472.
- BLEVINS, R. L.; COOK, D.; PHILLIPS, S. H.; PHILLIPS, R. E. 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agron. J.*, 63, 593-596.
- BORDEGARAY, M.; RODRIGUEZ, M.; CRUZADO, P.; MANGADO, J.; MARTINEZ, A.; ZARRAVEITIA, J. V.; PINEIRO, J., 1996. Siembra directa en las rotaciones forrajeras de raigras italiano-maiz en la coraisa cantdbtica. *Adas de la XXXVI Reunion Cientffica de la Sociedad Espanola para el Esrudio de los Pantos*: 273-278.
- BUENO LEMA, I., 1997. *Siembra sin laboreo de mat; forrajero en condicioies humedas*. Tesis doctoral. Universidad Politecnica de Madrid (Espana).
- CANNELL, R. Q.; HAWES, J. D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with especial reference to temperate climates. *Soil Till. Res.*, 30, 245-282.
- CROOKSTON, R. K.; FOX, C. A.; HILL, D. S.; MOSS, D. N., 1978. Agronomic cropping for maximum biomassproduction. *Agron. J.*, 70, 899-902.
- DICK, W. A.; MC COY, E. L.; EDWARDS, W. M., 1991. Continuous application of no tillage to Ohio soils, *Agron. J.*, 83, 65-73.
- FLEURY, A., 1974. Introduction du mais et transformation du systeme de cultuie [The introduction of maize and the transformation of the cropping system], *Comptes Rendus de l'Academic d'Agriculnre de la France*, 60, 357-367.
- FUEHRING, H. D., 1978, Cereal forages and multiple cropping for feed production on the Southern High Plains. *Research Report, New Mexico Agricultural Experimental Station*, 376.
- GONZALEZ LEMOS, E. 2003. *Estudio del efeoto del deficit hidrieo y del melodo de siembra sobre el rendimiento de dos rotacionesforrajeras en Galicia*. Trabajo de investigacirn fin de caixaera. Universidad de Santiago de Compostela.
- HELSEN, Z. R.; WEDIN, W. E. 1981. Harvested dry matter from single and double cropping system. *Agron. J.*, 73, 895-900.
- HUGHES K. A., 1985. Maize/oats forage rotation under 3 cultivation systems. 1978-83. 1. Agronomy and yield. *N. Z. J. ofAgri. Res.*, 28. 201 -207.

- JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; GOUDRIAAN, J.; RITCHIE, J. T.; VAN KETJLEN, H.; STOL, W., 1998. A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sinus, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crop Res.*, 55, 23-44.
- JONES, J. N. JR.; MOODY, L. E.; LILLARD, L. B., 1969. Effects of tillage, no tillage, and mulch on soil water and plant growth. *Agron. J.*, 61, 719-721.
- KARLEN, D.; CAMP, C., 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on maize in the Atlantic Coastal Plain. *Agron. J.*, 77, 393-398.
- LLOVERAS, J., 1986. Cultivos forrajeros de invierno para rotaciones intensivas con maíz en zonas húmedas (Galicia). In >. *Agrar.: Prod. Prot. Veg.*, 1, 317-329.
- LLOVERAS, J., 1987. Forage production and quality of several crop rotations and pastures in northwestern Spain. *Gross Forage Sci.*, 42, 241-247.
- LLOVERAS, J., 1988. Cultivos para la producción de forraje en verano en zonas húmedas. *Inv. Agrar.: Prod. Prot. Veg.*, 3, 59-70.
- LLOVERAS, J., 1990. Dry matter yield and nutritive value of four summer annual crops in north-west Spain. *Grass Forage Sci.*, 45, 243-248.
- LOPEZ CEDRON, F. X.; RUIZ NOGUEIRA, B.; PINEIRO, J.; SAU, F., 2002. Intensive forage rotations in Galicia: effect of irrigation and tillage system. *VII Congress of the European Society for Agronomy*, 515-516.
- MANGADO URDANIZ, J. M., 1990. Resiembra de praderas. *Navarra Agraria*, 50; 65-79.
- MAPA. Anuario de estadística agroalimentaria 2006. <http://www.niapa.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu_06/indice.asp>.
- MONTEITH J., 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, 9, 747-766.
- MUNAWAR, A.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W.; SAUL, M. R., 1990. Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agron. J.*, 82, 773-777.
- MURDOCK, L. W.; WELLS, K. L., 1978. Yields, nutrient removal, and nutrient concentrations of double-cropped corn and small grain silage. *Agron. J.*, 70, 573-576.
- OKOLI, P. S.; DROLSOM, P. N.; SCHOLL, J. M., 1984. Forage production and weed control in a double-cropping program. *Agron. J.*, 76, 363-366.
- PARVEZ, A.; GARDNER, F.; BOOTE, K. J., 1989. Determinate and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density and planting date. *Crop Sci.*, 29, 150-157.
- PIETERS, H., 1981. Les cultures dérobées. *Rev. Agric. (Brass)*, 34, 693-700.
- PINEIRO, J., 1998. Implantación de praderas por siembra directa en la zona húmeda de España. *Minidía de campo sobre siembra directa*. CIAM, 20-30.
- PINEIRO, J.; DIAZ DIAZ, N.; PEREZ, M., 2001. Raigras italiano. *Agriculture*, 827, 436-443.
- PINEIRO, J.; PEREZ, M., 1995. Siembra sin laboreo de raigras italiano en un viejo alfalfar. *Agriculture*, 77S, 476-482.
- PINEIRO, J.; PEREZ, M., 1996. Siembra directa de las rotaciones de maíz o sorgo-raigras italiano en dos localidades de Galicia. *Adas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 245-249.
- PINEIRO, J.; PÉREZ, M., 1997. Complementariedad de las rotaciones maíz/sorgo-raigras italiano con las praderas de raigras italiano-tretol violeta. *Adas de la XXXVII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 183-189.

- PINEIRO, I.; PEREZ, M., 2000. Direct drilling of forage maize, sorghum x Sudan grass and Italian ryegrass. *Grassland Science in Europe*, 5, 13U133,
- PONTAILLER, S., 1979. 25 ans d'agriculture intensive. Une production de plus en plus intensive [25 years agriculture in Finistere. More and more intensive production]. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de la France*, 65, 111-125.
- POZO IBANEZ, M. DEL., 1967. La siembra de praderas sin laboreo previo del terreno. *Actas de la VIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 53-58,
- RAPHALEN, J. L., 1980. Analyse critique du système raygrass d'Italie-mais [Critical analysis of the Italian ryegrass-maize system], *Fourrages*, 82, 105-121.
- RAPHALEN, J. L.; BLOC, D., 1982. Le maïs fourrage dans l'ouest [Forage maize in the west]. *Perspectives Agricoles*, iii, 15-34.
- RODRIGUEZ, M.; BORDEGARAI, I.; BESGA, G.; MARTINEZ, A.; PINEIRO, J., 1997. Corn or sorghum-Italian ryegrass forage rotation under different cultivation systems in high rainfall areas of Spain. *Proceedings of the XVIII International Grassland Congress*. Volume 1, 19, 51-52.
- RODRIGUEZ, M.; BORDEGARAI, I.; MARTINEZ, A.; PINEIRO, J., 1996. Tillage methods for Italian ryegrass-maize or sorghum forage crop rotations in northern Spain. *Grasslands Science in Europe*, 1, 579-582,
- RUIZ NOGUEIRA, B.; BOOTE, K. J.; SAU, K. 2001. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. *Agr. Syst.*, 68, 151-173.
- SAU, F.; BOOTE, K. J.; BOSTIC, W. M.; JONES, J. W.; MINGUEZ, M. I., 2002. Testing and improving soil water balance of DSSAT3.5 models. *VII Congress of the European Society for Agronomy*, 325-326,
- SINEIRO GARCÍA, F. 1977. Técnicas de transformación del monte en pastos, /// *Seminario INWSEA sobre Pastos, Forrajes y Producción Animal*, 7-52. Centro Regional de Investigación y Desarrollo Agrario de Galicia. Mabegondo. A Coruña (España).
- SINEIRO, F.; VALDES, B., 1998. *Análisis de gestión de explotaciones de vaca de leche*. Escola Politécnica Superior. Lugo (España).
- VAN BOCKSTAELE, T.; BEHAEGHE, V.; DE BEATS, A., 1979. Des cultures de maïs associées à une culture dérobée ou des cultures mixtes maïs-légumineuses rendent-elles possible une production maximale de fourrages verts? [Do maize crops associated with a cover crop or mixed maize-legume crops make possible the highest yield of green fodder?]. *Revue d'Agriculture*, 32, 1112-1125.
- WAGGER, M. O.; DENTON, H. P., 1989. Tillage effects on grain yields in a wheat, double-crop soybean, and corn rotation. *Agron. J.*, 81, 493-498,
- XUNTA DE GALICIA. Anuario de estadística agraria 2004. <<http://mediorural.xunta.es/consellaria/aea2004.php>>.
- XUNTA DE GALICIA. Comarcas económicas da agricultura 2003. <<http://mediorural.xunta.es/consellaria/cea2003.php>>.